Aus dem Arbeitsphysiologischen Institut der Universität Breslau
Direktor: Prof. Dr. Adolf Basler

Zusammenhänge zwischen der Schubkraft und Bewegungsphase des Gehens.

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung des Doktorgrades in der Medizin und Chirurgie
bei der Hohen Medizinischen Fakultät der
Schlesischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Breslau.

Vorgelegt von

Ruth Ottawa

Breslau

Breslau 1938

Buchdruckerei und Verlag Eugen Jakubik, Breslau 10, Wörtherstrasse 6

Gedruckt mit Genehmigung
der medizinischen Fakultät der Universität Breslau

I. Referent: Prof. Dr. A. Basler
II. Referent: Prof. Dr. Blotevogel
Dekan: Prof. Dr. Gutzeit

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Meinen lieben Eltern!

Zu den lebenswichtigsten Tätigkeiten des menschlichen Körpers gehört die auf der Höhe der Vollkommenheit stehende willkürliche Vorwärtsbewegung. Diese Fortbewegung kommt dadurch zustande, daß der auf dem Boden ruhende Fuß sich nach vorn abstößt und somit die gleiche Bewegung ausführt wie die Stange des Flößers. Daraus folgt, daß neben verschiedenen anderen Kraftwirkungen auch Komponenten am Werke sind, die waagerecht verlaufen, also parallel der Gehfläche. Auf diese Schubkräfte wurde in der Literatur schon so oft hingewiesen[1]), daß sich ein näheres Eingehen darauf erübrigt.

Es sei nur kurz erwähnt, daß die Schubkraft nach dem Stützen, also während der Fersendrehung mit einer nach vorn gerichteten Phase (der negativen[2]) beginnt, dann allmählich auf 0 zurückgeht und hierauf in umgekehrter Richtung erneut ansteigt, um am Schluß der Sohlendrehung wieder schnell zu sinken[3]). Wie aber die zwei Phasen der Kraft mit den einzelnen während der Gehbewegung unterscheidbaren „Zuständen" unter den verschiedenen Bedingungen zusammenfallen, darüber ist noch wenig bekannt.

Aus diesem Grunde bin ich gern der Aufforderung von Herrn Professor Basler gefolgt, diese Zusammenhänge nicht nur für das gewöhnliche Gehen, sondern auch für den Zehen- und Fersengang zu untersuchen wobei auch die Fußbekleidung weitgehend berücksichtigt wurde[4]).

---

[1]) Vgl. R. du Bois-Reymond, Specielle Bewegungsl., Berlin 1903, S. 297. — A. Basler, Der Gang des Menschen, Med. Klinik. Nr. 44, Jahrg. 1935.

[2]) Als „negativ" soll diese Kraftwirkung deshalb bezeichnet werden, weil ihre Wirkung auf den Körper gegen die Gangrichtung verläuft. (Vgl. S. 5.)

[3]) A. Basler, Das Gehen, Canton 1929. — H. Rauhut, Arbeitsphysiol., Bd. 9, S. 438, 1936.

[4]) Ausgeführt mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft Berlin.

Versuchsanordnung.

Das Versuchsgerät, das ich bei meinen Untersuchungen verwende, ist von Herrn Professor Basler angegeben und stellt eine Vereinfachung früherer Modelle[5]) dar.

Die Vorteile des von mir benutzten Versuchsgerätes bestehen also im wesentlichen darin, daß der Apparat eine viel handlichere Form hat und stets gebrauchsfertig ist. Eine Skizze und kurze Beschreibung mag das Prinzip erklären:

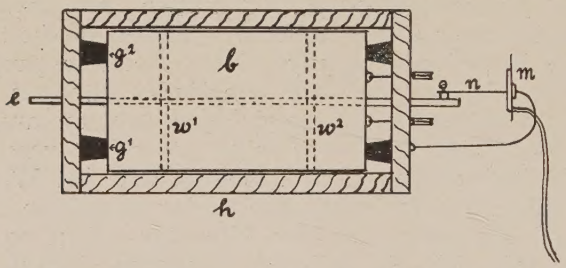


Abb. 1.

Der 51 cm lange, 24 cm breite und 5 cm hohe Apparat besteht aus einem Holzrahmen h, in den ein 36 cm langes und 14 cm breites, etwa $1^1/_2$—2 cm dickes, bewegliches Brett b eingesetzt ist. An seinen beiden Schmalseiten ist es zwischen je 2 Gummipuffer g^1 und g^2 eingeklemmt, ruht auf zwei Walzen w_1 — w_2 (Abb. 2) und ist somit in horizontaler Richtung verschiebbar. Ferner ist an der Unterfläche des beweglichen Brettchens eine 57 cm lange Metallstange e (Abb. 1) befestigt; diese

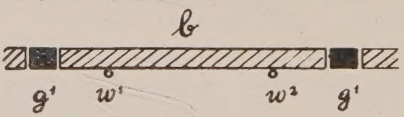


Abb. 2.

durchbohrt den Holzrahmen an beiden Schmalseiten noch um je 3 cm. Auf diese Stange e wird die auf das Brett wirkende Kraft übertragen. Am Ende dieser Metallstange e ist eine Doppelmuffe angebracht mit einem verstellbaren Metallstift n. Dieser Stift n wird so eingestellt, daß er in seiner Ruhelage eine Marey'sche Kapsel m spannt; der Gummiüberzug ist an der Stelle der Berührung mit der Metallnadel mit einem dünnen Schutzblättchen aus Aluminiumblech überklebt. Die Marey'sche Kapsel ist außen an einer der Schmalseiten des Holzrahmens befestigt. Von dieser Kapsel führt ein 6 cm langer Gummischlauch zu einer Marey'schen Schreibkapsel.

---

[5]) Basler, Das Gehen, Canton 1929, S. 104. — H. Rauhut l. c.

In neuester Zeit haben Hellebrandt[6]) sowie auch Elftman[7]) Apparate beschrieben, die ähnlich gebaut sind. Natürlich könnten auch diese zu meinen Versuchen ebensogut verwendet werden.

Die soeben erwähnte Marey'sche Schreibkapsel m war vor dem Basler'schen Bildkymographion angebracht. Das Prinzip des Bildkymographions sei nur in aller Kürze (als Abb. 3 dargestellt) angegeben. Es ist ein Apparat, der Kurven aufzeichnet, bei denen unter jeder Ordinate ein kleines Bildchen steht, das die jeweils zugehörige Stellung der Versuchsperson zeigt. Die Schreibkapsel, deren Hebel h Abb. 3 zeigt, ist vor einem Schirm aufgebaut, der von hinten her beleuchtet wird, ebenso noch ein zweiter Schreibhebel b, der aber nicht mit dem Gerät zur Messung der Schubkraft verbunden ist, sondern nur einen Strich als „Nullinie" auf dem Film zeichnet. Diese Nullinie bedeutet für das „Lesen der Kurve" eine Erleichterung, hat aber sonst keine wesentliche Bedeutung.

Um nicht auf besonders helles Licht angewiesen zu sein, machte ich meine Aufnahmen als Schattenbilder. Deshalb wurde der eingangs beschriebene Apparat (hier mit a bezeichnet), in der Art in die Gehbahn g eingebaut, daß seine Oberfläche in einer Ebene mit dieser und daß er genau vor ein Fenster f zu liegen kam, vor dem ein transparenter Schirm s stand. Die Aufstellung gestaltete sich also wie in Abb. 3 angedeutet.

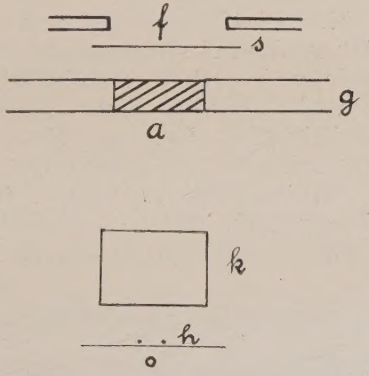


Abb. 3.

f = Fenster, s = Schirm, a = Apparat zum Nachweis der Schubkraft, g = Gehbahn, k = Kamera, h = Schreibhebel.

---

[6]) F. A. Hellebrandt u. A., Science, Vol. 8. 6., S. 451, 1937, und F. A. Hellebrandt und andere, The Physiotherapy Review, Vol. 17, Nr. 6, 1937.

[7]) H. Elftman, Science, Vol. 88, S. 152, 1938. — A. Basler, Arbeitsphysiol., Bd. 10, S. 219, 1938.

Ausführung der Versuche.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß ein Mensch im höchsten Maße unnatürlich geht, wenn man ihn auffordert, einen oder zwei Schritte an einer genau vorgeschriebenen Stelle zu machen. Deshalb ließ ich meine Versuchspersonen erst einige Zeit im Zimmer umhergehen und dann erst die Gehbahn betreten. Wenn die Versuchsperson in die Nähe des Fensters kam, wurde der Apparat in Gang gesetzt.

So erreichte ich es, daß alle zum Versuch herangezogenen Menschen fast genau so gingen, wie etwa auf der Straße. Das zeigte sich auch daran, daß bei mehreren nacheinander aufgenommenen Filmen sich diese glichen wie ein Ei dem anderen.

Untersuchungen:

Zunächst sei ein Versuch beschrieben, bei dem die Versuchsperson in ihrer gewohnten Art und Weise über den Apparat ging.

Es handelte sich dabei um eine weibliche Person, für die hier einige Daten folgen mögen:

Alter 25 Jahre
Körpergröße 1,60 m
Gewicht 62,5 kg
Beinlänge 96 cm.

Abb. 4 mag als Beispiel dafür dienen wie eine so gewonnene Kurve, die von rechts nach links zu lesen ist, aussieht. Der mehrere mm breite horizontale Strich stellt die Schubkraftkurve dar. Diese Kurve läßt sich nur schwer mit der Rauhut'schen[8]) vergleichen, die bei viel langsamerem Trommelgang aufgenommen wurde und deshalb von rechts nach links zusammengedrängt erscheint, viel eher mit den von Basler[9]) mechanisch aufgeschriebenen Kurven. Man erkennt deutlich ein verhältnismäßig schnelles Ansteigen einer nach vorwärts wirkenden Kraft, ein langsameres Sinken über die Nullinie hinaus in der Richtung nach hinten und schließlich wieder ein ziemlich steiles Abfallen dieser nach hinten wirkenden Kraft.

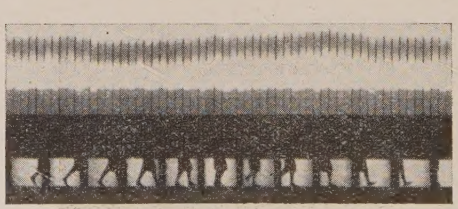


Abb. 4.

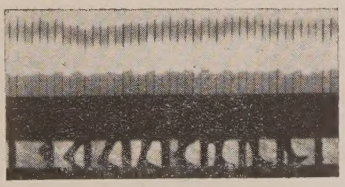
11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

[8]) H. Rauhut, Arbeitsphysiol., Bd. 9, S. 438, 1936.

[9]) A. Basler, Das Gehen, Canton 1929, S. 105.

In diesem Zusammenhang interessiert am meisten das Zusammenfallen der Kraft mit den einzelnen Bewegungsphasen. Darüber geben uns die unter der Kurve verzeichneten Bildchen Aufschluß, die 11 Bewegungsphasen darstellen. Als erstes Bildchen von rechts nach links sehen wir den rechten Unterschenkel und Fuß kurz vor dem Aufsetzen der Ferse; dann folgt als Nr. 2 der Zustand, wo die Ferse eben den Boden berührt. Mit diesem Anfang der Fersendrehung beginnt die nach vorn gerichtete Kraft. Der Körper hat die Tendenz die Unterlage nach vorn zu schieben. Da gleichzeitig der Rumpf infolge des Beharrungsvermögens nach vorn gestoßen wird, entsteht ein auf das rechte Bein wirkender Drehzwilling, durch den die Drehung um die rechte Ferse erfolgt. Während sich die Fußsohle so weit dreht, daß sie vollständig auf dem Boden aufliegt, steigt die Kraft ziemlich schnell bis zu ihrem Maximum an, das über dem Bildchen 3 erreicht ist. Zur Zeit der 4. Aufnahme, wo der Unterschenkel genau senkrecht steht, hat die Kurve noch nicht die Nullstellung erreicht, d. h. es ist immer noch eine nach vorn gerichtete Kraft wirksam. Erst in dem jetzt folgenden Zustand 5 wirkt weder nach vorn noch nach hinten eine Kraft, was aus der Tatsache hervorgeht, daß die zugehörige Ordinate den Wert 0 erreicht hat. Hier ist der Unterschenkel aber mit dem unteren Ende schon etwas nach hinten gedreht, zwar nicht viel aber doch um eine Kleinigkeit.

Nunmehr beginnt die Kraft langsam zunehmend nach hinten zu wirken. Der Höhepunkt dürfte zwischen dem Stadium 8 und 9 erreicht sein, also dann, wenn der Fuß schon stark in Zehenstellung übergegangen ist, so daß die Sohle mit dem Fußboden einen Winkel von 45^0 bildet. Die Unterschenkelachse schließt mit der Gehbahn einen Winkel von 59^0 ein. In dem Augenblick, wo nur noch die Großzehenspitze den Boden berührt, ist die Kraft gefallen. Diese soeben beschriebene nach rückwärts gerichtete Kraft ist es, die den Körper bei der Gehbewegung nach vorn treibt, also die positive Phase.



8 7 6 5 4 3 2 1

Abb. 5.

Um die Bewegungen bzw. Stellungen des Fußes noch deutlicher zu erkennen, habe ich auch Aufnahmen aus 100 cm Distanz gemacht, eine solche ist als Abb. 5 wiedergegeben. Hier fehlt zwar in manchen Bewegungsphasen der Unterschenkel; dafür sieht man aber um so besser, wie bei 1 die Ferse sich aufsetzt und von 6 bis 8 sich die Zehen immer mehr vom Boden ablösen.

Bei einem Versuch, der bei einer anderen Versuchsperson ausgeführt wurde, erhielt ich folgende Ergebnisse. Die Ferse des von hinten nach vorn schwingenden Beines wird auf den Boden aufgesetzt; die Kraft ist bis zu diesem Augenblick gleich Null. Dabei bildet der Unterschenkel mit der Bodenfläche einen spitzen Winkel von 73^0. Die Kraft beginnt bei der weiteren Abrollung der Ferse zuzunehmen und erreicht das Maximum, wenn der Fersenballen mit ganzer Kraft auf der Unterlage ruht. Dieser Zeitpunkt ist erreicht, wenn der Unterschenkel mit dem Boden einen Winkel von 90^0 bildet. Der Oberschenkel ist zu diesem Zeitpunkt noch im Knie angewinkelt. Nach diesem Maximum nimmt die Kraft ab und wird in dem Moment, da die Fersendrehung abgeschlossen ist, wieder Null. Ober- und Unterschenkel bilden während dieses Zustandes eine gerade Linie. Der Fuß liegt in diesem Zeitpunkt in seiner ganzen Länge auf dem Fußboden. Erst wenn die Zehendrehung beginnt, wächst die Schubkraft wieder, aber in entgegengesetzter Richtung; sie hat eine Umkehrung erfahren. Bald danach sind Ober- und Unterschenkel im Knie leicht abgewinkelt und der Unterschenkel bildet mit der Unterlage einen Winkel von 117^0. Hier liegt das Maximum der Zehenballendrehung. Die Kraft nimmt jetzt wieder ab und erreicht die Nullinie in dem Moment, da die Zehenspitzen nur noch eben den Fußboden berühren. Die erste Phase bezeichnen wir mit dem Ausdruck Stützen, die zweite nennen wir Stemmen. Während der Phase der Fersendrehung wurde das Brettchen b nach vorwärts, also in der Gangrichtung der betreffenden Versuchsperson verschoben; dieser Vorgang wird, wie erwähnt, von Herrn Prof. Basler als negative Phase[10]) bezeichnet. Sobald die Fersendrehung abgeschlossen ist, beginnt die zweite Phase, das Stemmen, während der sich der Zehenballen abrollt. Hier kehrt sich die Richtung um, Prof. Basler nennt die Umkehr der Kraftrichtung die positive Phase. Die Umkehr der Kraftrichtung bezeichnet die Grenze zwischen der Periode des Stützens und des Stemmens[11]).

---

[10]) Basler, Das Gehen, Canton 1929, S. 103.

[11]) Basler, Das Gehen, Canton 1929, S. 103.

Erörterung der bisherigen Ergebnisse.

Im Augenblick des Stützens erfährt die Unterlage des menschlichen Körpers eine starke Beschleunigung nach vorn, der Körper selbst eine solche nach hinten, d. h. er wird in seiner Vorwärtsbewegung abgebremst. Da die Gesamtmasse des Körpers aber immer noch eine große kinetische Energie besitzt, findet eine Drehung statt um die Ferse als Hypomochlion. Die dem Körper einmal erteilte Beschleunigung wirkt nach dem Ergebnis meiner Versuche noch weiter, selbst in dem Augenblick, wo der Gesamtschwerpunkt bis nahe an den vorderen Rand der Unterstützungsfläche rückt — ja vielleicht sogar noch über diesen hinaus. Diese Tatsache wird um so deutlicher, je schneller die Gehbewegung wird. Erst wenn der Körper sich anschickt, auf das andere Bein nach vorn zu fallen, ist die nach vorn wirkende Kraft zur Ruhe gekommen. Wir sehen das an der Kurve daran, daß die Ordinaten gleich Null werden. Die Beinachse bildet in dieser Phase mit der Unterlage einen Winkel von 110^0. Die Lage des Indifferenzpunktes d. h. desjenigen Punktes, wo die negative Phase der Schubkraft in die positive übergeht, bildete für mich eine große Überraschung. Zunächst scheint es ganz selbstverständlich, daß dieser Nullpunkt der Kurve dann vorhanden sein muß, wenn das Bein genau senkrecht steht. Wie nun die Auswertungen der von mir gewonnenen Kurven zeigten, war aber bei der Bewegungsphase, in der das Bein genau senkrecht steht, die erste Phase der Schubkraft noch nicht abgelaufen, d. h. der Fuß übte auf den Boden immer noch eine Kraft aus, die die Tendenz hatte, die Unterlage in der Richtung der Gehbewegung zu verschieben. Erst in der nächsten Phase erreichte die Schubkraftkurve die Null-Linie d. h. die Anfangsstellung. In diesem Augenblick bildete der Unterschenkel des auf dem Boden stehenden Beines mit der Unterlage schon einen Winkel von 110^0. Diese Erscheinung dürfte allein auf der Trägheit des menschlichen Körpers beruhen, der gegenüber die Masse des in Bewegung gesetzten Brettes b (Abb. 1) zu vernachlässigen ist. Erst kurze Zeit später, wenn der Körper sich mit den Zehenballen vom Boden aus nach vorwärts stemmt, wird vom Fuß auf die Gehbahn eine Kraft ausgeübt, die diese nach rückwärts zu schieben sucht. Das Maximum dieser Kraft fällt in die Zeit, wo die Beinachse mit der Unterlage einen Winkel von 121^0 bildet.

Größe der Schubkraft.

Um die Größe der auftretenden Kräfte in Kilogramm ausdrücken zu können war es nötig, eine Eichung des Apparates auszuführen. Diese geschah folgendermaßen: in dem beweglichen Brettchen b (Abb. 1) sind an der vorderen Schmalseite 2 Ösen eingeschraubt. In geradeaus verlaufender Richtung ist der Holzrahmen h an beiden entsprechenden Stellen durchbohrt. Durch die beiden Ösen und die Löcher im Holzrahmen ist ein Faden gezogen, der an seinen beiden Enden einen etwa 15 cm langen und 1 cm im Durchmesser zählenden Eisenstab trägt, der zum Anhängen der Gewichte dient. An diesen Stab hängte ich nun die Gewichte und registrierte diese Kurve optisch. Ich begann mit dem Anhängen eines 2 kg Gewichtes und steigerte immer um 2 kg weiter, also 2 kg, 4 kg, 6 kg und so fort. Das Ansteigen der Kurve bei jeder Mehrbelastung von 2 kg war nur gering.

Zur Vereinfachung des Ablesens und zur Vermeidung von Verwechselungen stellte ich an die hinter dem Apparat vor dem Fenster aufgestellte transparente Wand Holzlatten auf, die mitphotographiert wurden, und zwar bedeutete 1 Latte: 2 kg, 3 Latten: 3 kg usw. Zur Auswertung der so erhaltenen Kurven benutzte ich einen Stechzirkel und stellte die Abstände von der Nullinie der Kurve bei jeder Mehrbelastung fest. Indem ich die so erhaltenen Werte des Eichungsdiagrammes in Kilogramm festgestellt hatte, stellte ich Vergleiche der jeweilig auftretenden Versuchskurven mit dem Eichungsdiagramm auf.

Als Höchstwerte für die Phase der Fersendrehung fand ich bei Damen 6 kg, für die Zehenballendrehung 9,5 kg. Bei männlichen Personen fand ich als Höchstwerte für die negative Phase 12 kg, für die positive 13 kg. Als Mindestwerte erhielt ich 8,5 kg für das Stützen und für das Stemmen 9,5 kg. Als Durchschnittswert bei den Männern errechnete ich 9,5 kg für die negative Phase und 11,5 kg für die positive, also die Zehenballendrehung. Entsprechend waren auch die Durchschnittswerte beim weiblichen Geschlecht kleiner, und zwar betrugen die Werte für das Stützen 5,5 kg, für das Stemmen 9,5 kg. Rauhut wies bereits auf diese Unterschiede hin. Ich machte die gleichen Untersuchungen und kam zu fast gleichen Zahlen in den Ergebnissen. Die Differenzen sind nur ganz gering. Rauhut hatte bei seinen Beobachtungen Mindestwerte von 3 kg für die Fersendrehung und 4 kg für die Zehenballendrehung gefunden. Diese äußerst niederen Werte konnte ich in keinem Falle bei meinen Versuchspersonen finden.

Der Einfluß des Geschlechts.

Bei der Auswertung meiner Photogramme ergab sich zunächst eine auffallende Verschiedenheit der Schrittlänge für Männer und Frauen.

Es ist ja auch ganz allgemein eine bekannte Tatsache, daß es einer Dame in den meisten Fällen eine ziemlich große Schwierigkeit macht, mit einem Manne gleichen Schritt zu halten. Zum Teil ist dieser Unterschied der Schrittlänge zweifellos durch die meist geringere Beinlänge bei den Frauen bedingt. Vergleicht man aber eine männliche und weibliche Person mit den gleichen Körpermaßen, dann ist trotzdem der Schritt bei den Frauen kürzer. Jedenfalls war das bei meinen Versuchspersonen immer so. Damit soll natürlich nicht bestritten werden, daß ausnahmsweise eine Frau einmal längere Schritte macht als ein gleichgroßer Mann, oder daß bei einem Mann die Schritte einmal ungewöhnlich kurz sein können. Jedenfalls machen Frauen im allgemeinen kürzere und häufigere Schritte als gleich große Männer.

Rauhut erwähnte auch Unterschiede der Schubkraft beim männlichen und weiblichen Geschlecht. Er drückt sich wie folgt aus: „Der weibliche Gang ist unabhängig von Gewicht und Körpergröße graziöser, elastischer, leichter, während beim männlichen Geschlecht mehr die Kraft zum Ausdruck kommt“[12]).

Bedingt wird die „Leichtigkeit“ des Ganges durch die größere Anzahl von Schritten in der Zeiteinheit. — Eine der Ursachen dürfte in der Bekleidung liegen. Da durch den Rock der Frauen die Beine nicht die volle Bewegungsfreiheit haben, werden gewohnheitsmäßig kurze Schritte gemacht, auch wenn keine beengende Kleidung getragen wird.

Einfluß der Fußbekleidung.

Alle bisher beschriebenen Versuche wurden barfuß ausgeführt. Jetzt ließ ich die Versuchspersonen einmal in Strümpfen, dann mit Schuhen, die verschieden hohe Absätze hatten, vor der Versuchsanordnung vorbeigehen. Dabei ergab sich, daß beim weiblichen Geschlecht die Anzahl der Schritte in der Zeiteinheit mit der Höhe des Absatzes zunahm. Rauhut hat in seiner Arbeit bereits darauf hingewiesen, daß die Schubkraft in der positiven Phase (Zehendrehung) durch das Tragen von Strümpfen herabgesetzt wird. Bei meinen Untersuchungen konnte ich das gleiche bestätigen.

---

[12]) H. Rauhut, Inaug.-Diss. Breslau 1936, S. 444.

Um der Ursache für diese Herabsetzung der Kraft auf den Grund zu kommen, machte ich folgenden Versuch. Der Versuchsperson, die barfuß ging, wurden die Zehen mit starkem Zug von rechts nach links mittels Leukoplaststreifen zusammengeklebt. Auch hier wurde der Zehenanteil der Schubkraft genau so stark herabgesetzt wie beim Tragen von Strümpfen. Bei der männlichen Versuchsperson H. F. betrug z. B. das Maximum der Kraft in der Phase der Fersendrehung beim Barfußgehen 12 kg, bei der Zehenballendrehung 13 kg. Klebte ich die Zehen mit einem Heftpflasterstreifen zusammen, so waren die entsprechenden Werte in der Phase des Stützens 10 kg und in der Phase des Stemmens 8,5 kg. Es besteht somit eine deutliche Verminderung besonders in der Phase der Zehenballendrehung, also genau das gleiche, was sich beim Gehen in Strümpfen beobachten ließ. Aber bei allen meinen Versuchen ließ sich nicht nur eine Herabsetzung der Kraft während der positiven, sondern auch — wenn auch in etwas geringerem Maße während der negativen Phase beobachten. Das bedeutet, daß beim Stützen auch die Ferse zaghafter aufgesetzt wird, als wenn die gleiche Versuchsperson mit ungehemmten Zehen geht. Ich glaube, daß als Hauptursache die Unsicherheit anzusehen ist, mit der man in Strümpfen oder mit sonst künstlich zusammengehaltenen Zehen auftritt.

Ich ließ meine weiblichen Versuchspersonen in Strümpfen im Zimmer hin und hergehen und beobachtete ihre Fußstellung. Auch dabei zeigte es sich, daß der Fuß vorsichtiger abgerollt wurde. Das Abwickeln des Fußes ist in vielen Fällen nicht einmal vollständig. Ich machte die Beobachtung, daß Personen beim Gehen in Strümpfen die Zehen nach oben strecken, besonders die Großzehe und die zweite Zehe. Dabei wurde fast nur auf der Fersengegend aufgetreten, zum Teil mit nach außen gekantetem Fuß. Für alle diese Erscheinungen gibt es nur eine Erklärung, die z u k u r z e n Strümpfe. Wenn die Großzehe mit aller Kraft nach hinten gezogen wird, dann treten Schmerzen auf bei jeder Berührung des Bodens mit der Ferse, weil dabei der Strumpf durch die negative Phase der Schubkraft noch mehr gespannt wird und auf die Halluxspitze wirkt.

Einfluß der Schuhe.

Weiterhin untersuchte ich den Einfluß der Schuhe auf die Schubkraft. Hier wurden die Werte wieder größer und glichen mehr den Ergebnissen beim Barfußgehen. Fast identisch waren die Werte beim männlichen Geschlecht. Am männlichen Schuh ist ja die Absatzhöhe gering und spielt nur eine untergeordnete Rolle für die Lageänderung des Fußes. Beim Gehen in Schuhen

fand ich bei Männern einen Durchschnittswert von 10 kg für das Stützen und 11,5 kg für das Stemmen. Diese Werte stimmen mit dem Barfußgehen fast überein (9,5 kg für die negative und 11,5 für die positive Phase). Entsprechend der Vielfältigkeit des weiblichen Schuhwerkes machte ich Versuche bei den Frauen in Schuhbekleidung mit verschiedenen Absatzhöhen. Als Höchstwerte in der Phase des Stützens ergaben sich bei einer Absatzhöhe von 4 cm 6,5 kg und 8 kg für das Stemmen. Für das Stemmen stiegen die Werte mit anwachsender Absatzhöhe. Es ergaben sich für eine Absatzhöhe von 5 cm für das Stützen 7,5 kg, für das Stemmen 8,5 kg als Durchschnittsmaße. In einem Fall konnte ich untersuchen mit einer Absatzhöhe von 7 cm und fand die Bestätigung meiner Annahme: einen erheblich höheren Wert für die Phase des Stemmens, nämlich 9 kg, während der Wert für das Stützen weit zurückblieb; es war nur ein Krafteinsatz von 5,5 kg erforderlich.

Werden die Zehen durch hohe Absätze dauernd in die Schuhspitzen gedrängt, dann hört die schmerzhafte Empfindung an den Zehen als Folge der dauernden Druckwirkung nach kurzem Tragen der Schuhe auf. Es liegt also die paradoxe Erscheinung vor, daß — rein gefühlsmäßig — die Zehen durch die Strümpfe allein stärker belästigt werden als durch die tatsächlich noch mehr einengenden Schuhspitzen. Der Gesichtspunkt des Schmerzes fällt also fort.

Dazu kommt noch das folgende Moment: nach bisher noch nicht veröffentlichten Untersuchungen des hiesigen Institutes steht beim Tragen hoher Absätze der Fuß in Zehenstellung, auch dann, wenn er nicht auf dem Boden ruht. Bei einem so gestellten Fuß wird offenbar die Tendenz, mit der Fußspitze die Unterlage zu verschieben, größer.

Zehen- und Fersengang.

Da ich beim Zehenstand keine wirksame Schubkraft feststellen konnte, interessierte mich die Frage, wie die Kurve ausfallen würde, wenn die Versuchsperson einmal nur auf den Zehen, das andere Mal nur auf den Fersen über den Apparat gehen würde. Zunächst würde man wohl erwarten, daß die Kurve nur einen Ausschlag zeigt, und zwar entsprechend den vorhergehenden Untersuchungen beim Zehengang einen Ausschlag in der positiven Phase, einen entsprechenden beim Fersengang in der negativen. — Die Kurve sah aber anders aus! Ich erhielt sowohl beim Zehengang, wie auch beim Fersengang zweiphasige Kurven. Daraus folgt, daß beim

Gehen auf den Fersen der hintere Abschnitt des Fersenballens als Fersenballenstützpunkt, der vordere Abschnitt als Sohlenballenstützpunkt wirkt, also die letztere der Phase des Stemmens entspricht. Dementsprechend ist dies auch der Fall beim Zehengang: der erste Teil des Zehenballens wirkt als Fersenstützpunkt, der vordere Teil als Zehenballenstützpunkt. In beiden Fällen erhielt ich für das Stützen und das Stemmen sehr hohe Werte.

Beim Zehengang betrug der Wert für die negative Phase 11 kg und erreichte in der positiven Phase ein Maximum von 12,5 kg. Beim Fersengang fielen die Werte für das Stemmen noch günstiger aus, und zwar betrug der Höchstwert für die positive Phase 13,5 kg und für die negative 10 kg. Diese Tatsache ist wiederum verständlich, wenn man bedenkt, daß man viel schwerer auftritt, beim Gehen auf dem Hacken, um ein sicheres Gefühl beim Gehen zu haben. Diese Ergebnisse stehen in engem Zusammenhang mit den von H. Schenk[13]) festgestellten, wonach die Lotkraftkurve beim Fersen- und Zehengang ebenso aussieht wie beim Gehen auf dem ganzen Fuße.

[13]) H. Schenk, Arbeitsphysiol., Bd. 9, S. 489 (494), 1936.

Zusammenfassung.

1. Die beim Gehen auftretende Kraft läßt sich in zwei Komponenten zerlegen: eine gegen die Gangrichtung auf den Körper wirkende während der Fersendrehung, eine entgegengesetzte der Gangrichtung, also nach rückwärts wirkende während der Zehenballendrehung.
2. In der Phase des Stemmens ist die Kraft größer als in der Phase des Stützens.
3. Die auftretenden Kräfte waren in beiden Phasen bei Männern größer als bei Frauen.
4. Beim Barfußgehen und beim Tragen bequemer Schuhe mit einem flachen Absatz waren die auftretenden Kräfte ziemlich gleich.
5. Beim Stemmen nahmen die Kräfte mit zunehmender Absatzhöhe zu.
6. Heftpflasterstreifen wirken im Sinne von Strümpfen als Schubkraft vermindernd.
7. Beim Zehenstand und beim Ausführen von Kniebeugen ist die auftretende Kraft in der Horizontalen = Null. Es ist aber hier nur eine in senkrechter Richtung wirkende Kraft vorhanden, von Prof. Basler als Lotkraft bezeichnet.
8. Beim Zehengang, wie auch beim Fersengang erhält man zweiphasige Kurven. Beim Fersengang ist der Wert für die positive Phase größer als der entsprechende Wert beim Zehengang.

An dieser Stelle sei es mir gestattet, Herrn Professor Basler für die Überlassung des Themas und für seine freundliche Unterstützung bei der Ausführung der Untersuchungen meinen ergebensten Dank auszusprechen.

Lebenslauf.

Ich, Ruth Ottawa, wurde am 9. Mai 1913 als Tochter des Rektors Johannes Ottawa in Breslau geboren. Nach dreijähriger Grundschule trat ich in das Oberlyzeum der Ursulinen in Breslau ein und bestand am 17. Februar 1932 das Abitur. Vom Sommersemster 1932 bis 1937 studierte ich an der Universität zu Breslau Medizin. Im Januar 1938, nach meinem 11. Studiensemester, beendigte ich das medizinische Staatsexamen in Breslau.